普通高等教育“三海一核”系列规划教材

工业过程控制

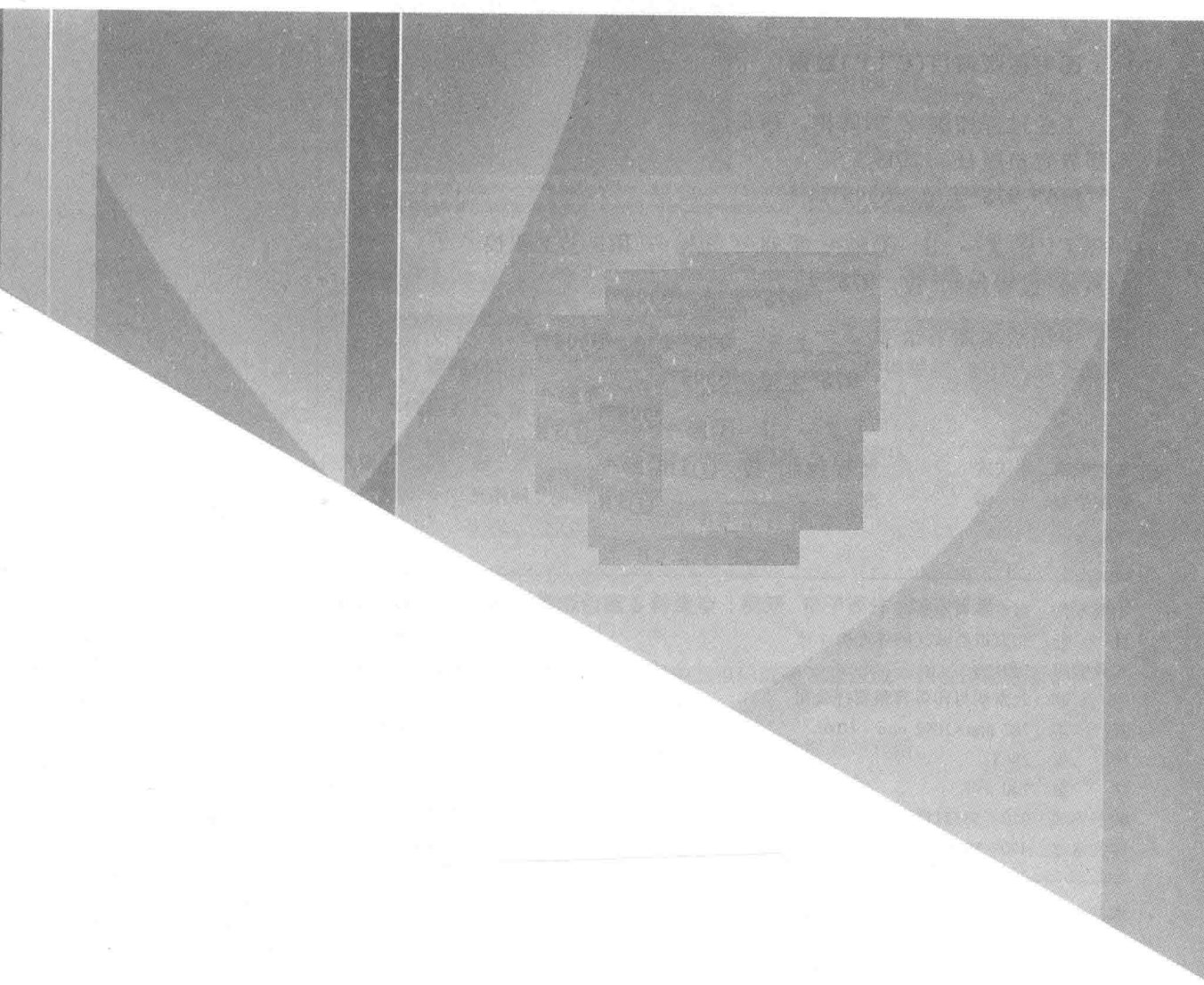
彭秀艳 韩云涛 梁洪 编

高等教育出版社

普通高等教育“三海一核”系列规划教材

工业过程控制

彭秀艳 韩云涛 梁洪 编



高等教育出版社·北京

内容简介

本书以单回路控制系统为主线，讲解了单回路控制系统的四大组成部分：被控对象类型及建模方法，检测仪表、执行器、控制器的原理、类型、选型方法等。然后由浅入深地介绍单回路控制系统设计、复杂控制系统设计、实现特殊需求的过程控制系统、分布式控制系统及分析设计实例、船舶核动力装置过程控制系统分析设计、船舶辅机设备过程控制系统、高级过程控制系统。全书共12章，每章均附有思考题与习题。书中配套有重难点讲解视频和扩展知识，适用于混合式教学和“翻转课堂”等新型教学模式改革的需要。

本书内容全面涵盖了工程中需要的基础知识，又突出了过程控制工程应用设计的目标，强调理论、分析设计方法、工程应用三者之间的协调发展。可作为电气类、自动化类、仪器仪表类等专业高年级本科生的教材，也可作为研究生的教科书及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工业过程控制 / 彭秀艳，韩云涛，梁洪编. -- 北京：高等教育出版社，2019.1

ISBN 978-7-04-039576-1

Ⅰ. ①工… Ⅱ. ①彭… ②韩… ③梁… Ⅲ. ①工业控制系统-过程控制 Ⅳ. ①TB114.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第002558号

策划编辑 平庆庆	责任编辑 平庆庆	封面设计 张 楠	版式设计 杜微言
插图绘制 于 博	责任校对 刘丽娟	责任印制 陈伟光	

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京明月印务有限责任公司		http://www.hepmall.com
开 本	787 mm×1092 mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	28.5		
字 数	740千字	版 次	2019年1月第1版
购书热线	010-58581118	印 次	2019年1月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	55.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 39576-00

工业过程控制

彭秀艳
韩云涛
梁　洪
编

1　计算机访问http://abook.hep.com.cn/1254971，或手机扫描二维码、下载并安装Abook应用。

2　注册并登录，进入“我的课程”。

3　输入封底数字课程账号（20位密码，刮开涂层可见），或通过Abook应用扫描封底数字课程账号二维码，完成课程绑定。

4　单击“进入课程”按钮，开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制，部分内容无法在手机端显示，请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题，请发邮件至abook@hep.com.cn。



本书配套的数字资源包括3种类型：视频、电子课件、知识扩展。

视频：您可以扫描书中二维码或通过登录数字课程网站观看。

电子课件：您可以通过登录数字课程网站观看。

知识扩展：您可以通过登录数字课程网站观看。

http://abook.hep.com.cn/1254971

前言

过程控制是自动化技术的重要分支，是一门与工业生产过程联系非常密切的课程，也是自动化专业的核心课程。在船舶、电力、核能、冶金、石化、轻工等生产过程中有着广泛的应用，过程控制系统的设计涉及生产工艺、测控技术、自动控制理论、智能控制和计算机技术等领域的知识，是一门综合性的学科。随着近几年科学技术的发展和教学改革的需要，作者根据多年的教学和科研实践经验，对讲授内容不断总结和完善，最终确定了本书的内容。

本书内容全面涵盖了工程中需要的基础知识，又突出了过程控制工程应用设计的目标，同时兼顾了哈尔滨工程大学“三海一核”特色优势学科需要，特别介绍了船舶特辅装置过程控制系统、船舶核动力装置过程控制系统的分析和设计方法。本书强调理论、分析设计方法、工程应用三者之间的协调发展。

本书以单回路控制系统为主线，讲解了单回路控制系统的四大组成部分：被控对象类型及建模方法，检测仪表、执行器、控制器的原理、类型、选型方法等，然后由浅入深地介绍单回路控制系统设计、复杂控制系统设计、实现特殊需求的过程控制系统、分布式控制系统、实际工业过程控制系统、高级过程控制系统等。本书的重点和难点是过程控制系统方案设计和工艺设计。

为了强调学以致用，书中讲解了分布式控制在过程控制中的应用，使学生掌握先进的设计手段；书中的工程应用实例为工程设计中的常见问题，使学生更好地理解原理和工程设计方法，这也是本书另一特色；书中最后介绍了船舶核动力装置过程控制系统、船舶辅机设备过程控制系统的系统分析设计方法和步骤，使学生掌握过程控制系

统整体设计步骤和调试方法，了解过程控制在“三海一核”学科中的应用，激发学生学习、解决工程问题的兴趣。

本书共 12 章，彭秀艳教授负责本书的组织和定稿，并编写了第 1、7、8、9、10、11 章，韩云涛编写了第 3、6、12 章，梁洪编写了第 2、4、5 章。北京化工大学孙洪程教授仔细审阅了全部书稿，并提出了许多宝贵的意见和建议，谨向他致以最诚挚的谢意。

由于水平所限，本书难免存在不妥及错误之处，恳请读者批评指正。

编　者

2018 年 6 月 20 日

目录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　过程控制系统的组成及特点 …… 1
1.2　过程控制的发展概况和趋势 …… 4
1.3　过程控制的要求和任务 …… 10
1.4　过程控制系统的分类及性能指标 …… 13
思考题与习题 …… 17

第 2 章　被控过程的数学模型 …… 19
2.1　被控过程数学模型的作用与要求 …… 19
2.2　机理法建模 …… 21
2.2.1　单容过程建模 …… 21
2.2.2　多容过程建模 …… 24
2.3　试验法建模 …… 29
2.3.1　响应曲线法 …… 29
2.3.2　频域法 …… 36
2.3.3　相关统计法 …… 39
2.3.4　最小二乘参数估计法 …… 42
思考题与习题 …… 48

第 3 章　过程参数检测仪表和变送器 …… 50
3.1　测量误差与仪表的基本技术指标 …… 50
3.2　温度检测及变送 …… 53
3.2.1　温度检测仪表的分类及其测温范围 … 54
3.2.2　热电偶 …… 55
3.2.3　热电阻 …… 62
3.2.4　温度变送器 …… 64
3.2.5　温度仪表的工程应用与选型原则 …… 67
3.3　压力检测及变送 …… 69
3.3.1　压力的概念及检测方法 …… 69
3.3.2　弹性式压力计 …… 70
3.3.3　电气式压力计 …… 72
3.3.4　工业用压力表的选用与安装 …… 79
3.4　流量检测及变送 …… 80
3.4.1　流量的基本概念及检测方法 …… 80
3.4.2　速度式流量计 …… 81
3.4.3　容积式流量计 …… 89
3.5　物位检测及变送 …… 90
3.5.1　物位概念及检测方法 …… 90
3.5.2　物位测量及仪表 …… 91
3.6　成分自动分析仪表 …… 94
3.6.1　成分检测概念及方法 …… 94
3.6.2　氧化锆式氧量分析仪 …… 95
3.6.3　红外线气体分析仪 …… 98
3.6.4　工业酸度计 …… 100
3.6.5　在线成分分析仪使用注意事项 …… 102
思考题与习题 …… 103

第 4 章　执行器 …… 106
4.1　概述 …… 106
4.2　气动调节阀 …… 107
4.2.1　气动调节阀的结构与类型 …… 107
4.2.2　调节阀结构特性和流量特性 …… 109
4.2.3　气动调节阀选型 …… 118
4.2.4　电/气转换器 …… 120
4.2.5　阀门定位器 …… 122
4.2.6　电/气阀门定位器 …… 123
4.3　电动调节阀 …… 124
4.4　智能调节阀 …… 125
4.5　安全栅 …… 127
4.5.1　安全防爆栅概念 …… 127
4.5.2　安全火花防爆系统 …… 128
思考题与习题 …… 129

第 5 章　控制仪表 …… 131
5.1　概述 …… 131
5.2　比例积分微分控制及调节过程 …… 132
5.2.1　比例控制(P) …… 132
5.2.2　比例积分控制 …… 134
5.2.3　比例积分微分控制(PID) …… 139
5.3　DDZ-Ⅲ控制器 …… 142
5.4　数字式控制器 …… 150

5.4.1 KMM 数字调节器软硬件构成 …… 151
5.4.2 数字 PID 控制算法 …… 155
5.4.3 KMM 可编程调节器功能模块及编程方法 …… 161
思考题与习题 …… 173

第 6 章 单回路控制系统设计 …… 175
6.1 单回路控制系统设计概述 …… 175
6.2 单回路控制系统方案设计 …… 178
6.2.1 选择被控参数和控制参数 …… 178
6.2.2 系统设计中的测量变送问题 …… 186
6.2.3 调节阀(执行器)的选择 …… 190
6.2.4 调节器的选择 …… 191
6.3 调节器参数整定 …… 195
6.4 单回路控制系统设计应用举例 …… 204
思考题与习题 …… 207

第 7 章 复杂控制系统设计 …… 211
7.1 串级控制系统 …… 211
7.1.1 串级控制系统的结构与工作原理 …… 211
7.1.2 串级控制系统的分析 …… 214
7.1.3 串级控制系统的设计 …… 219
7.1.4 串级控制系统调节器参数整定 …… 222
7.1.5 串级控制系统的工业应用 …… 224
7.2 前馈控制系统 …… 227
7.2.1 概述 …… 227
7.2.2 前馈控制系统的结构形式 …… 229
7.2.3 前馈控制系统的工业应用 …… 239
7.3 大滞后过程控制系统 …… 242
7.3.1 改进型常规控制方案 …… 243
7.3.2 大滞后过程的预估补偿控制 …… 245
7.3.3 大滞后过程的采样控制 …… 248
思考题与习题 …… 251

第 8 章 实现特殊需求的过程控制系统 …… 255
8.1 比值控制系统 …… 255
8.1.1 比值控制系统的类型 …… 255
8.1.2 比值控制系统的设计与参数整定 …… 258
8.2 均匀控制系统 …… 263
8.2.1 均匀控制的目的和要求 …… 263
8.2.2 均匀控制系统设计 …… 264
8.3 分程控制系统 …… 266
8.3.1 分程控制原理及类型 …… 266
8.3.2 分程控制系统设计及工业应用 …… 267
8.4 选择性控制系统 …… 270
8.4.1 选择性控制系统的类型 …… 270
8.4.2 选择性控制系统设计及工业应用 …… 272
8.5 解耦控制系统 …… 274
8.5.1 多变量系统的耦合及解耦 …… 274
8.5.2 解耦控制系统设计 …… 277
思考题与习题 …… 286

第 9 章 分布式控制系统 …… 290
9.1 分布式控制系统的概念及发展历程 …… 290
9.1.1 分布式控制系统概念 …… 290
9.1.2 分布式控制系统的发展历程 …… 292
9.2 分布式控制系统体系结构 …… 296
9.2.1 分布式控制系统的基本构成 …… 297
9.2.2 分布式控制系统软件基本构成 …… 302
9.2.3 分布式控制系统的网络结构 …… 304
9.2.4 分布式控制系统的物理结构及硬件构成 …… 305
9.3 分布式控制系统中的算法 …… 308
9.4 分布式控制系统的软件 …… 314
9.4.1 DCS 控制层软件 …… 314
9.4.2 DCS 监督控制层软件 …… 323
9.4.3 DCS 高级管理层软件 …… 326
思考题与习题 …… 328

第 10 章 船舶核动力装置过程控制系统 …… 329
10.1 概述 …… 329
10.1.1 船用核动力装置控制系统的组成和结构 …… 329
10.1.2 核动力装置控制系统的任务和要求 …… 332
10.2 一回路平均温度控制 …… 337
10.3 稳压器压力和水位控制系统 …… 340
10.4 蒸汽发生器水位控制 …… 350
10.4.1 蒸汽发生器动力学模型与水位

模型 …… 350
10.4.2 船用蒸汽发生器水位控制系统 …… 357
思考题与习题 …… 361

第 11 章 船舶辅机设备过程控制系统 …… 362
11.1 船舶蒸汽锅炉过程控制系统 …… 362
11.1.1 船舶锅炉水位的控制系统 …… 362
11.1.2 船舶锅炉蒸汽压力的控制系统 …… 365
11.2 船舶冷却水温度控制系统 …… 374
11.3 燃油黏度控制系统 …… 378
思考题与习题 …… 386

第 12 章 高级过程控制系统 …… 387
12.1 预测控制 …… 388
12.1.1 预测控制原理与模型算法控制 …… 389
12.1.2 内模控制结构法与状态空间表示法 …… 397
12.2 自适应控制和鲁棒控制 …… 402
12.2.1 自适应控制系统基本结构和类型 … 402
12.2.2 简单自适应控制系统 …… 403
12.2.3 自整定控制器 …… 404
12.2.4 鲁棒控制 …… 405
12.3 推理控制 …… 408
12.3.1 推理控制系统的组成 …… 408
12.3.2 推理-反馈控制系统 …… 411
12.4 智能控制 …… 413
12.4.1 专家系统 …… 414
12.4.2 模糊控制 …… 417
12.5 监督控制 …… 422
12.5.1 监督控制及其原则 …… 422
12.5.2 操作优化控制 …… 423
12.5.3 统计过程控制 …… 425
12.6 故障检测诊断容错控制 …… 429
12.6.1 故障检测诊断的基本概念 …… 429
12.6.2 工况检测控制 …… 432
12.6.3 容错控制 …… 434
思考题与习题 …… 435

参考文献 …… 437

第1章 绪 论

1.1 过程控制系统的组成及特点





视频：工业过程控制的组成、特点、任务



电子课件：工业过程控制的组成、特点、任务

NOTE

工业自动化涉及的范围极广，过程控制是其中最重要的一个分支。工业生产过程控制是生产过程自动化的简称，它泛指石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能、船舶等工业生产中连续的或按一定周期程序进行的生产过程自动控制，它包括生产过程的开停车、操作及操作条件的改变等，是自动化技术的重要组成部分。工业生产过程控制在实现工业生产中各种最优经济指标、提高经济效益和社会效益、节约能源、改善劳动条件、保护生态环境等方面发挥着越来越大的作用。

从控制的角度，通常将工业生产过程分为三类，即连续型、离散型和混合型。过程控制主要是针对连续型生产过程采用的一种控制方法，连续型生产过程的主要特征通常表现为：呈流动状态的各种原材料在生产过程中，经过传热、传质或物理、化学变化等，大多会发生相变或分子结构的变化，从而产生新的产品，在这个变化过程中，有关工艺参数是决定产品产量和质量的关键因素，它们不仅受生产过程内部条件的影响，也受外界条件的影响，这就增加了对过程工艺参数进行控制的复杂性和特殊性，从而也决定了过程控制的特点、任务及要求与一般自动控制有所不同。因此过程控制通常是对生产过程中的温度、压力、流量、液位、成分和物性等连续生产过程工艺参数进行控制，使其保持为定值或按一定规律变化，以确保产品质量和生产安全，并使生产过程按最优化目标自动进行。

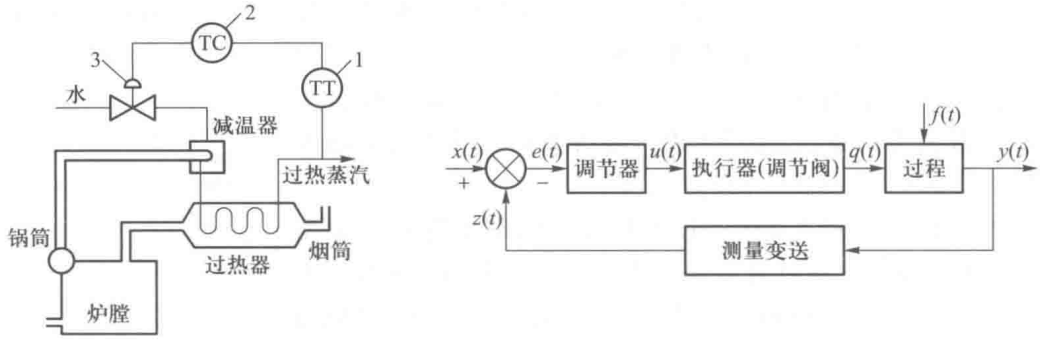
一、过程控制系统的组成

过程控制系统一般指工业生产过程中自动控制系统的被控变量是温度、压力、流量、液位、成分等这样一些变量的系统。

在冶金、机械、石油、化工、电力、轻工、船舶等工业部门中，锅炉是一种不可缺少的动力设备。下面以发电厂锅炉过热蒸汽温度控制为例，介绍过程控制系统的组成。

如图 1-1-1 所示，在发电厂里，从锅炉锅筒出来的饱和蒸汽经过

过热器继续加热成为过热蒸汽，通常过热蒸汽温度达到460℃左右时再去推动汽轮机工作。每种锅炉与汽轮机组都有一个规定运行温度，在这个温度下运行机组的效率最高。如果过热蒸汽温度过高，会使汽轮机的寿命大大缩短；如果温度过低，当蒸汽带动汽轮机做功时，会使部分蒸汽变成小水滴，冲击汽轮机叶片，易造成生产事故。因此过热蒸汽温度是其生产过程中的一个重要的工艺参数，是保证汽轮机组正常运行的一个重要条件，必须对其进行控制。通常是在过热器之前或中间部分串接一个减温器，通过控制减温水流量的大小来改变过热蒸汽的温度，故设计了图示温度控制系统。本系统采用DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表。即用热电阻温度变送器1将测量信号送至调节器2的输入端，并与代表过热蒸汽温度的给定值进行比较得到偏差，调节器按此偏差以某种控制规律进行运算后输出控制信号，来控制调节阀3的开度，从而改变减温水的流量，以达到控制过热蒸汽温度的目的。



(a) 控制流程图　　(b) 控制原理方框图

图1-1-1　过热蒸汽温度控制系统

1—热电阻温度变送器；2—调节器；3—调节阀。

NOTE

将如图1-1-1(a)所示的控制流程图画成方框图如图1-1-1(b)所示。图1-1-1(b)中的过程方框表示检测温度的热电阻到调节阀的管道设备。$y(t)$表示过热蒸汽的温度，是本过程控制系统中的被控参数(被控量)，即“过程”的输出信号。在本例中进入过热器的烟道气温度以及环境变化(如刮风、降温)情况都是引起被控参数波动的外在因素，在过程控制中称为扰动作用，用$f(t)$来表示。它也是“过程”的输入变量。减温水流量的改变是由于调节阀动作所致，它也是影响过热蒸汽温度变化的因素，调节阀方框的输出信号，用$q(t)$表示。可称其为操作变量(也称控制参数)，它体现终端控制作用。调节器的输出$u(t)$称为控制作用。它也是调节阀的输入信号。测量元件和变送器的作用是把被控参数$y(t)$转换为测量值$z(t)$。

由图 1-1-1(b)所示的系统方框图可知,过热蒸汽温度控制系统是由测量元件、变送器、调节器、执行器(调节阀)、过程等环节组成。如果把测量元件、变送器、调节器和调节阀统称为过程检测控制仪表,则一个简单的过程控制系统是由被控过程和过程检测控制仪表两部分组成。

在生产过程中,由于扰动是不断发生的,控制作用也在不断地进行。如因某种扰动使过热蒸汽温度下降时,测量元件(热电阻)和变送器将温度测量出来,送至调节器的输入端,并与给定值进行比较得到偏差,调节器按此偏差并以某种控制规律发出相应的控制信号,去关小调节阀的开度,使减温水流量减小,从而使过热蒸汽温度逐渐上升,并趋向给定值。

二、工业过程与控制的特点

与其他自动控制系统比较,工业生产过程控制具有下列特点。

(1) 过程控制系统由过程检测、变送和控制仪表、执行装置等组成。过程控制是通过各种类型的仪表完成对过程变量的检测、变送和控制,并经执行装置作用于生产过程。这些仪表可以是气动仪表、电动仪表,可以是模拟仪表、计算机装置或者智能仪表,也可以是现场总线仪器或无线仪表。不管采用什么仪器或计算机装置,从过程控制的基本组成来看,过程控制系统总是包括对过程变量的检测变送、对信号的控制运算和输出到执行装置,完成所需操纵变量的改变,从而达到所需控制目标(或指标)。

(2) 工业生产过程控制的被控过程具有非线性、时变、时滞及不确定性等特点。由于过程控制的被控过程具有非线性、时变、时滞及不确定性等特点,难于获得精确的过程数学模型,因此,给控制带来了困难。

(3) 工业生产过程控制的被控过程多属于慢过程。与航天、船舶运动过程的控制不同,工业生产过程控制所研究的被控过程通常具有一定时间常数和时滞,过程的控制并不需要在极短时间内完成。

(4) 工业生产过程控制方案的多样性。由于工业过程的多样性,为适应被控过程的特点,控制方案也具有多样性,表现为:同一被控过程,因受到的扰动不同,需采用不同的控制方案。常用的控制方案有简单的控制系统、串级控制系统、比值控制系统、均匀控制系统、前馈控制系统、分程控制系统、选择性控制系统、双重控制系统等;控制方案适应性强,同一控制方案可适用于不同的生产过程控制。随着过程控制研究的深入,大量先进控制系统和控制方案得到开发和应用,例如,预测控制、解耦控制、时滞补偿控制、专家系统和模糊控制等智能控制。

(5) 工业生产过程控制系统分为随动控制和定值控制,常用的控

制系统是定值控制系统。它们都采用一些过程变量，例如，温度、压力、流量、物位和成分等作为被控变量，过程控制的目的是保持这些过程变量能够稳定在所需的设定值，能够克服扰动和负荷变化对被控变量造成的影响。

(6) 工业生产过程控制实施手段的多样性。除了过程控制方案的多样性外，实施过程控制的手段也具有多样性，尤其在开放系统互操作性和互连性等问题得到解决后，实现过程控制目标的手段更丰富。

1.2 过程控制的发展概况和趋势

NOTE

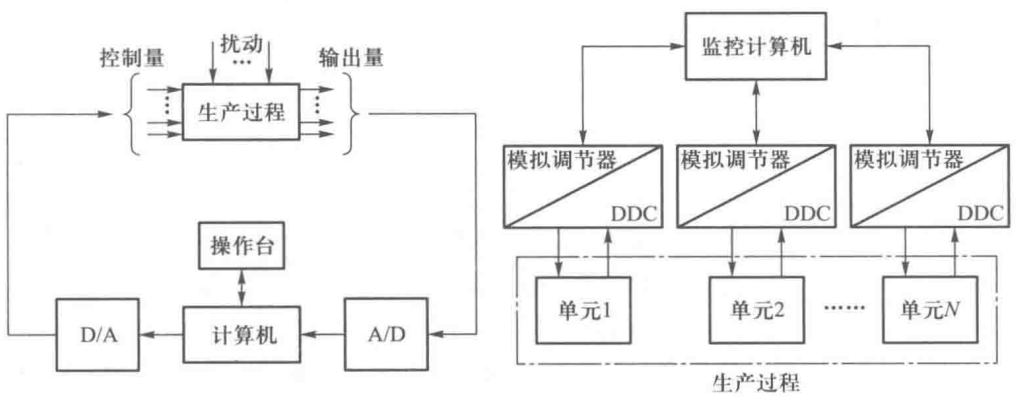
自20世纪40年代以来，自动化技术获得了惊人的成就，已在工业生产和科学发展中起着关键的作用。当前，自动化装置已成为大型设备不可分割的重要组成部分。实际上，生产过程自动化的程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。回顾自动化技术发展的历史，可以看到它与生产过程本身的发展有着密切的联系，是一个从简单形式到复杂形式，从局部自动化到全局自动化，从低级智能到高级智能的发展过程。过程控制大致经历了四个发展阶段。

20世纪50年代以前可以归结为自动化发展的第一阶段。在这一时期中，理论基础是用传递函数进行数学描述，以根轨迹法和频域法作为分析和综合系统基本方法的经典控制理论，因而带有明显的依靠手工和经验进行分析和综合的色彩。在设计过程中，一般是将复杂的生产过程人为地分解为若干个简单过程，最终实现如图1-1-1所示的单输入单输出的控制系统。其控制目标也就只能满足于保持生产的平稳和安全，属于局部自动化的范畴。当时，也出现了一些如串级、前馈补偿等十分有效的复杂系统，相应的控制仪表也从基地式发展到单元组合式。但总的说来，自动化水平还处于低级阶段。

20世纪60年代，可以认为是工业自动化发展的第二个阶段。50年代末，由于生产过程迅速向着大型化、连续化的方向发展，工业生产过程的非线性、耦合性和时变性等特点十分突出，原有的简单控制系统已经不能满足要求，自动控制面临着工业生产的严重挑战。幸运的是，为适应空间探索的需要而发展起来的现代控制理论已经产生并已在某些尖端技术领域取得惊人的成就。它以状态空间分析方法为基

NOTE

础，内容包括了以最小二乘法为基础的系统辨识，以极大值原理和动态规划为主要方法的最优控制和以卡尔曼滤波理论为核心的最优估计等三部分。值得注意的是，现代控制理论在综合和分析系统时，已经从外部现象深入到揭示系统内在的规律性，从局部控制进入到在一定意义下的全局最优，而且在结构上已从单环扩展到适应环、学习环等。可以说，现代控制理论是人们对控制技术在认识上的一次质的飞跃，为实现高水平的自动化奠定了理论基础。与此同时，电子数字计算机的发展与普及为现代控制理论的应用开辟了道路，为实现工业自动化提供了十分重要的技术手段。在 60 年代中期，已出现了如图 1-2-1 所示的用计算机代替模拟调节器的直接数字控制（direct digital control，DDC）系统和由计算机确定模拟调节器或 DDC 回路最优设定值的计算机监控（supervisory computer control，SCC）系统。60 年代，国外曾试图用一台计算机代替全部模拟仪表，实现“全盘计算机控制”。当时由于电子计算机体积大，价格昂贵，而且在可靠性和功能方面还存在不少问题，计算机集中控制仅停留在试验阶段。



(a) 直接数字控制系统　　(b) 计算机监控系统

图 1-2-1　计算机控制系统

20 世纪 70 年代工业自动化进入第三个阶段。随着大规模集成电路及微处理器的问世，计算机的性价比和可靠性大为提高，采用冗余技术和自诊断措施的工业计算机完全满足工业控制对可靠性的要求。到 70 年代中期，针对工业生产规模大，过程参数和控制回路多的特点，为了满足工业生产的可靠性、安全性、可操作性以及经济效益等方面要求，提出了“集中管理，分散控制”理念。出现了一种分布式控制系统（distributed control system，DCS），又称集散系统，如图 1-2-2 所示。它是集计算机技术、通信技术和控制技术等于一体的计算机系统，一经问世，就受到工业界的青睐。这种系统在结构上的分散，即将

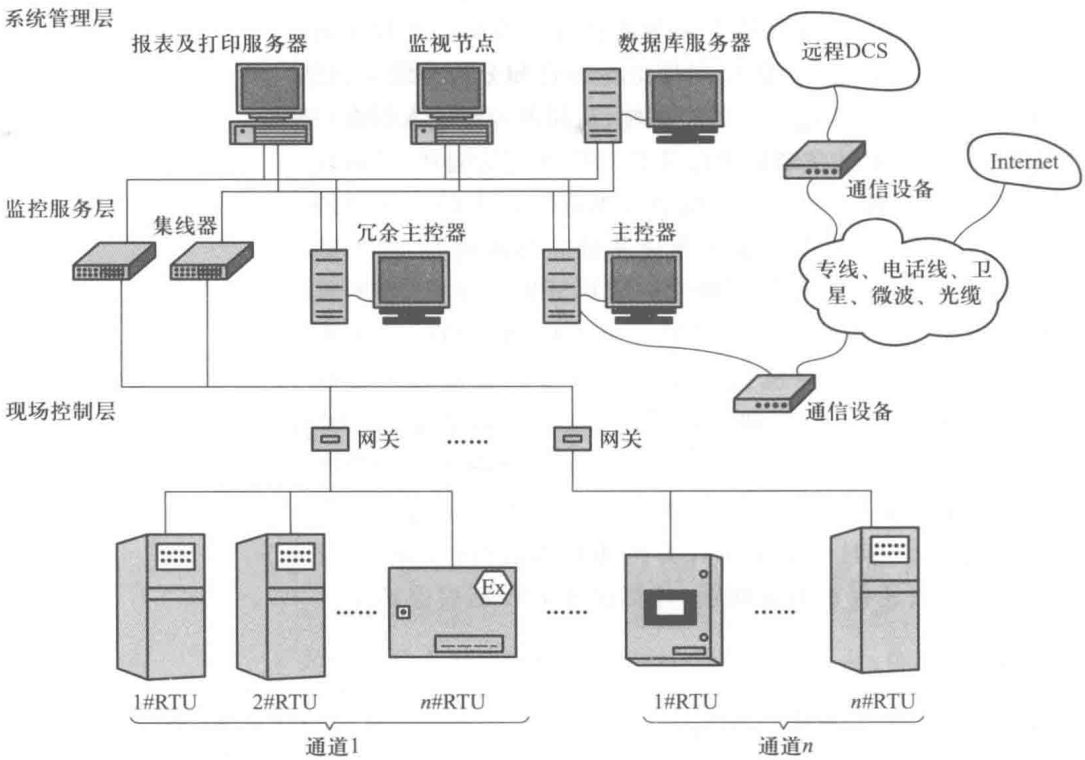


图 1-2-2 分布式控制系统(DCS)

NOTE

计算机分布到车间或装置一级,不仅使系统危险分散,消除了全局性的故障节点,增加了系统的可靠性,而且可以灵活方便地实现各种新型控制规律和算法,便于系统的分批调试和投运。显然,这种分布式控制系统的出现,为实现高水平的自动化提供了强有力的技术工具,给生产过程自动化的发展带来深远的影响。可以说,从 70 年代开始,工业生产自动化已进入计算机时代。

这个阶段控制理论与其他学科相互交叉,互相渗透,向着纵深方向发展,从而开始形成了所谓的第三代控制理论,即大系统理论和智能控制理论。众所周知,一类复杂的工业过程,如反应过程、冶炼过程、核能及核能应用和生产过程等,本身机理十分复杂,还没有被人们充分认识,而且这类过程往往还受到众多随机因素的干扰和影响,因而难以建立精确的数学模型,以满足闭环最优控制的要求。同时,这类过程的控制策略也有待进一步研究。目前已有的策略或是过于复杂,难以实现在线控制,或是过于粗糙,不能满足高水平的控制要求。解决这类问题的重要途径之一就是将人工智能、控制理论和运筹学三者相结合的智能控制。这一方面已受到国内外控制界的极大重视,并已在化工、冶金和水泥工业中成功应用的报道。在我国,已出现了利

用知识和推理的实时专家系统进行诊断、预报和控制的实例。另外，70年代以来，由于世界范围内出现的能源危机和市场剧烈竞争，工业生产规模更趋庞大，如每个电站的功率已经从20万kW发展到60万甚至100万kW，石化工业中年产30万吨级甚至更大的乙烯、合成氨等工厂也大批建成。设备的更新换代，较大地提高了生产率。但要进一步提高产量，降低成本，节约原材料和减少能源消耗并非易事，必须在分散控制的基础上，从全局最优的观点出发对整个大系统进行综合协调。国内外已在造纸、冶金和石化系统中开展了这些方面的科研工作。可以说，工业生产实际提出的以优质、高产、低消耗为目标的控制要求，从客观上促进了第三代控制理论的形成和发展。尽管到目前为止，它还处在发展和完善过程中，但已受到极大的重视和关注，取得很大的进展。与此同时，在现代控制理论中，诸如非线性系统、分布参数系统、随机控制以及容错控制等也在理论上和实践中得到了发展。总之，在这个阶段中，工业自动化正在发生着巨大的变革，它已突破了局部控制的模式，进入到全局控制，既包含了若干子系统的闭环控制，又有大系统协调控制、最优控制以及决策管理，即人们称之为控制管理一体化的新模式。它的出现将使工业自动化系统在大量获取生产过程和市场信息的基础上，科学地安排、调度生产，充分发挥设备的生产能力，最终达到优质高产低消耗的控制目标。

20世纪80年代之后进入第四阶段，发展至今先进过程控制成为主流。当前工业生产过程控制发展的主要特点如下：

（1）先进过程控制的控制策略包括：模型预测控制、时滞补偿控制、多变量预测控制、解耦控制、统计质量控制、自适应控制、推断控制及软测量技术、优化控制、智能控制（专家控制、模糊控制、神经网络控制等）、鲁棒控制、H_∞和μ综合等，尤其以智能控制作为开发、研究和应用的热点。

（2）过程优化受到普遍关注。过程优化正受到过程工业界的普遍关注。借助过程优化可使整个生产过程获得很大的经济和社会效益。过程优化主要寻找最佳工艺操作参数的设定值，使生产过程获得最大经济效益，这也称为稳态优化。稳态优化采用静态模型，进行离线或在线的优化计算。离线优化是在约束条件下采用各种建模优化方法寻求最优工艺操作参数，提供操作指导。在线优化是周期进行模型计算、模型修正和参数寻优，并将参数值直接送控制器作为设定值。为获得稳态最优，要求系统工作在一种保守程度较小的特定工况下，一旦偏离该工况，各项指标会明显变差，操作难度增加，并导致生产不安全。随着稳态优化的深入研究，直接影响过程动态品质的最优动态控制也显示出其重要性。

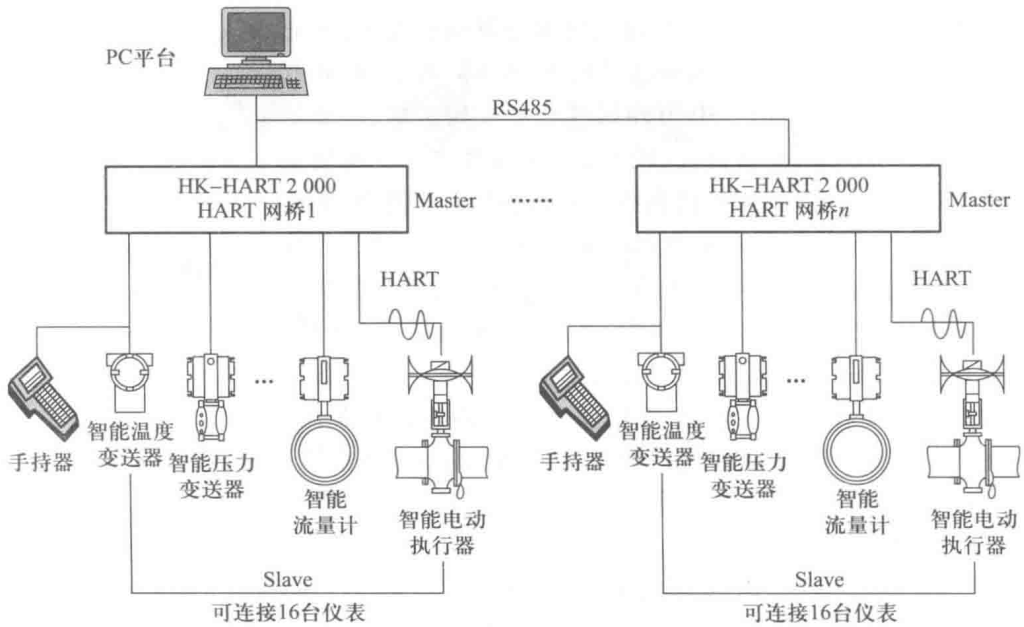


图 1-2-3 现场总线控制系统(FCS)

NOTE

(3) 开放系统和标准化。从工业自动化仪表发展看,从基地式仪表、单元组合仪表到以微处理器为基础的计算机控制装置,自动化仪表的发展极为迅速,近年来,在传统 DCS 基础上,现场总线仪表和现场总线控制系统相继问世,如图 1-2-3 所示使自动化仪表有了质的飞跃。现场总线控制系统的主要特点是开放性、智能化,产品符合开放系统互联标准,它实现了真正双向的数字式通信和控制,降低成本,缩短设计、安装和维护工作量,将控制下放到现场级。现场总线是一种计算机的网络通信总线,是位于现场的多个现场总线仪表与远端的监视控制计算机装置间的通信系统。

现场总线控制系统把控制功能彻底分散到现场总线仪表,真正实现分散控制的功能。随着计算机技术、网络技术、通信技术、控制技术及其他高新科学技术的发展,过程控制仪表和系统都将出现新的发展,系统的开放和标准化使用户最终受益。

(4) 综合自动化。过程工业自动化在国际国内的市场竞争中不断提高,从原来的各制造厂商的"自动化孤岛"综合集成为一个整体的系统。综合自动化是当代工业自动化的主要潮流。计算机集成制造系统在连续工业中具体体现就是综合自动化。综合自动化是在计算机通信网络和分布式数据库的支持下,实现信息和功能的集成,把控制、优化、调度、管理、经营、决策等集成在一起,最终形成一个能适应生产环境的不确定性、市场需求的多变性、全局优化的高质量、高效